



MEDIÇÃO SEM CONTATO

MEASUREMENT WITHOUT CONTACT

Ricardo Castilho^{1,i}
Thiago Tadeu Amici^{2,ii}

RESUMO

Este trabalho apresenta a proposta para a implementação de um controle dimensional de características geométricas de barras, através de sistemas de medição sem contato, em processo de trefilação de barras. Dentre as funcionalidades específicas da medição em processo destacam-se: a exibição de gráficos de controles e índices de capacidade do processo, utilização como dispositivo à prova de erro e parada automática do equipamento em caso de anomalias. Outra oportunidade será a criação de banco de dados com a coleta dos resultados das medições, a fim de possibilitar a verificação e análise do histórico e resultados de medição, com tratativas para tomada de ação e ainda, a rastreabilidade de condição dimensional por lotes. O sistema desenvolvido proposto neste artigo se baseia nos princípios físicos da óptica, o qual realiza a varredura na peça. Até então, as medições são baseadas na utilização de instrumentos analógicos, como trenas, paquímetros e micrômetros, susceptíveis a erros diversos, quer sejam por métodos, instrumento ou uso incorreto pelo operador, além do tempo dispendido e do custo da não qualidade gerado com produto produzido com defeito por falhas no sistema de medição. O trabalho foi realizado no segundo semestre de 2019, em uma empresa do ramo metalmeccânico, situada em Itapevi, na região metropolitana de São Paulo e é caracterizado como uma pesquisa qualitativa, baseada em análise de dados documentais, tecnologias de medição disponíveis e observações dos autores que sugerem o novo sistema. Este estudo é delimitado a aplicação de medição sem contato em processo de produção de barras trefiladas de latão. Com essa ferramenta os próprios operadores visualizarão as informações, monitorarão a qualidade do produto e tomarão ações corretivas com base em procedimentos de segregação dos lotes. Os ganhos propostos incluem o aumento da produtividade, melhoria da qualidade do produto e redução dos custos de fabricação. Com base na adoção dessa tecnologia serão atendidos os requisitos de repetitividade, reprodutibilidade e estabilidade a longo prazo.

Palavras-chave: Medição sem Contato. Processo de Trefilação.

¹ Pós-graduando em Indústria 4.0 na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: Ricardo.castilho@sp.senai.br

² Docente e Me. em Controle e Automação de Processos da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: thiago.amici@sp.senai.br



ABSTRACT

This work presents a proposal for the implementation a dimensional control of geometric features of bars, through contactless use systems, in the drawing process bars.

Among the specific features of the highlighted process: a display of control charts and process capability indices, using as error-proof device and automatic shutdown of equipment in case of anomalies. Another opportunity will be the creation of a database with the collection of measurement results, an end of verification and historical analysis and verification results, with action-taking treatments, and a traceability of dimensional condition by batch.

The system developed in this article is based on the principles of optics, or what is the variety of parts. Until then, measurements are based on the use of analog instruments, such as measuring tape, calipers and micrometers, susceptible to various errors, either by methods, instrument or misuse by the operator, in addition to the time and cost of non-quality generated with product produced defective due to measurement system failures. The work was carried out in the second semester of 2019, in a metalworking company located in Itapevi, in the metropolitan region of São Paulo. It is characterized as qualitative research, based on documentary data analysis, available measurement technologies and author's observations, which suggest the new system. This study delimits the application of contactless measurement in the production process of drawn brass bars. With this tool, authorized users view information, monitor product quality, and take corrective action based on batch segregation procedures. The proposed gains to increase or increase performance, better product quality and reduced manufacturing costs.

Based on the adoption of this technology, long term repeatability, reproducibility and stability requirements will be offered.

Keyword: Contactless Measurement. Drawing Process.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de medição sem contato são muito importantes na indústria, devido à falta de contato com as peças e a sua alta velocidade de medição, principalmente aquelas de pequenas dimensões.

Técnicas de medição sem contato, como a triangulação laser, varredura a laser, sistema de processamento de imagem e a varredura do interferômetro de luz branca, são bem desenvolvidas para aplicações de medições dimensionais, medições de defeitos de superfície e medições de rugosidade superficial em um número de aplicações industriais (SHIOU e LIU, 2009). Para demonstrar a aplicação das técnicas de medição sem contato, foi sugerido um sistema de medição para o comprimento e diâmetro das barras trefiladas.



1.1 Sensores

Conforme Silva (2011), os sensores têm um importante papel no modo em que o homem controla e monitora os processos industriais automatizados pois possibilitam eficiência e constante evolução dos meios produtivos, que atualmente tornam-se cada vez mais complexos.

Na eletrônica, um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito eletrônico que permita a análise de uma determinada condição do ambiente, podendo ela ser algo simples como temperatura ou luminosidade, ou complexo como a detecção de partículas subatômicas (PATSKO, 2006).

Segundo Thomazini e Albuquerque (2011), para diversos autores, os termos sensor e transdutor são usados indistintamente, mas o transdutor é o instrumento completo que engloba sensor e todos os circuitos de interface capazes de serem utilizados numa aplicação industrial.

1.2 Técnicas Ópticas de Medição sem Contato

Métodos ópticos de medição estão se tornando soluções cada vez mais atrativas para o controle geométrico de peças e componentes mecânicos. A elevada velocidade de medição, os excelentes níveis de incerteza, a grande riqueza de detalhes, a flexibilidade e o nível de automação são fatores positivos que tem aproximado estas técnicas da indústria (ALBERTAZZI et al., 2003).

Conforme Bösemann (2005), os sistemas ópticos de medição são cada vez mais utilizados para a medição tridimensional de superfícies livres. Isto se deve ao fato de medições por princípios ópticos possuírem diversas vantagens: (a) medição sem contato, possibilitando realizar a medição de superfícies com baixa rigidez e sem correr o risco de riscar ou danificar superfícies bem acabadas; (b) rapidez de medição, onde milhões de pontos podem ser medidos em poucos segundos; (c) relativa portabilidade e (d) incertezas de medição que podem ser comparadas a sistemas com contato.

De acordo com a Hexagon (2019), os sistemas de escaner por luz branca são soluções integrais de medição ótica 3D muito abrangente, focadas na melhoria dos processos de engenharia e manufatura na indústria automotiva e outras indústrias.

Existem muitos processos de fabricação à quente, onde a medição dimensional é desejável, mas são inconvenientes de se obter devido à dificuldade de lidar com peças quentes. Logo, a utilização de equipamentos de medição por contato pode ser desconfortável para o operador, e na verdade podem apresentar um risco de segurança ao expô-lo a tais peças quentes. O sistema de medição sem contato, como sistema de visão de máquinas tem o potencial de reduzir esse problema (DWORKIN e NEY, 2006)

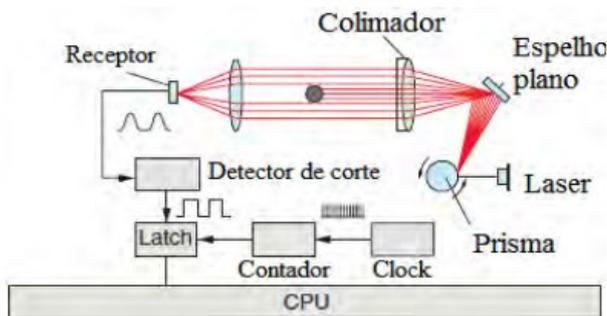
1.3 Escaneamento a Laser

A técnica de medição de escaneamento por interrupção de luz é bastante utilizada para a medição de diâmetro de componentes usinados ou extrudados. A medição é realizada com a varredura de um feixe estreito de laser. Neste caso o laser não se move,

então a varredura é realizada com o desvio do feixe por um prisma de cinco lados girando a 1800 rpm, dando um *scan* de medição em 1/150 s (SILVA, 2011).

Na Figura 1, observa-se a produção de raios paralelos a partir de uma lente de colimação especial que varre o espaço de trabalho a uma taxa linear, que é proporcional à velocidade de rotação do prisma. Logo, a posição do alvo cilíndrico dentro do espaço, onde deseja-se medir o diâmetro, não é crítica. Se o alvo se move enquanto ele está sendo escaneado, um erro resultará, no entanto, o ciclo de medição de alta velocidade reduz esse efeito (DOEBELIN, 2004).

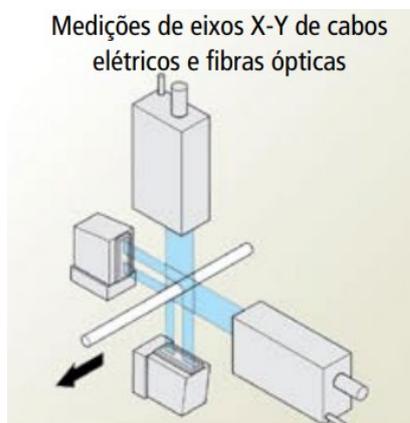
Figura 1 – Esquema de medição de diâmetro por varredura laser



Fonte: Keyence (2011, *apud* SILVA, 2011).

A sombra projetada pela peça é detectada pelo receptor, também chamado de fotodetector. Este apresenta uma variação na tensão de saída, na qual a largura no tempo é proporcional à largura do alvo. Alguns circuitos adicionais, como o detector de corte, funcionam como filtros e tem como objetivo rejeitar sinais falsos, tais como, ausência de alvo, sinal muito baixo por causa de excesso de fumaça no espaço de trabalho entre outros. Conforme Silva (2011), a precisão da ordem de 0,0001 mm, tem sido alcançada em plásticos de extrusão, controle de diâmetro de tarugos e medições de diâmetro remoto de barras com alta temperatura. A figura 2 apresenta um tipo de medidor de diâmetro comercial, em dois eixos, sendo X e Y, por escaneamento à laser.

Figura 2 – Esquema de medição de diâmetro com dois eixos

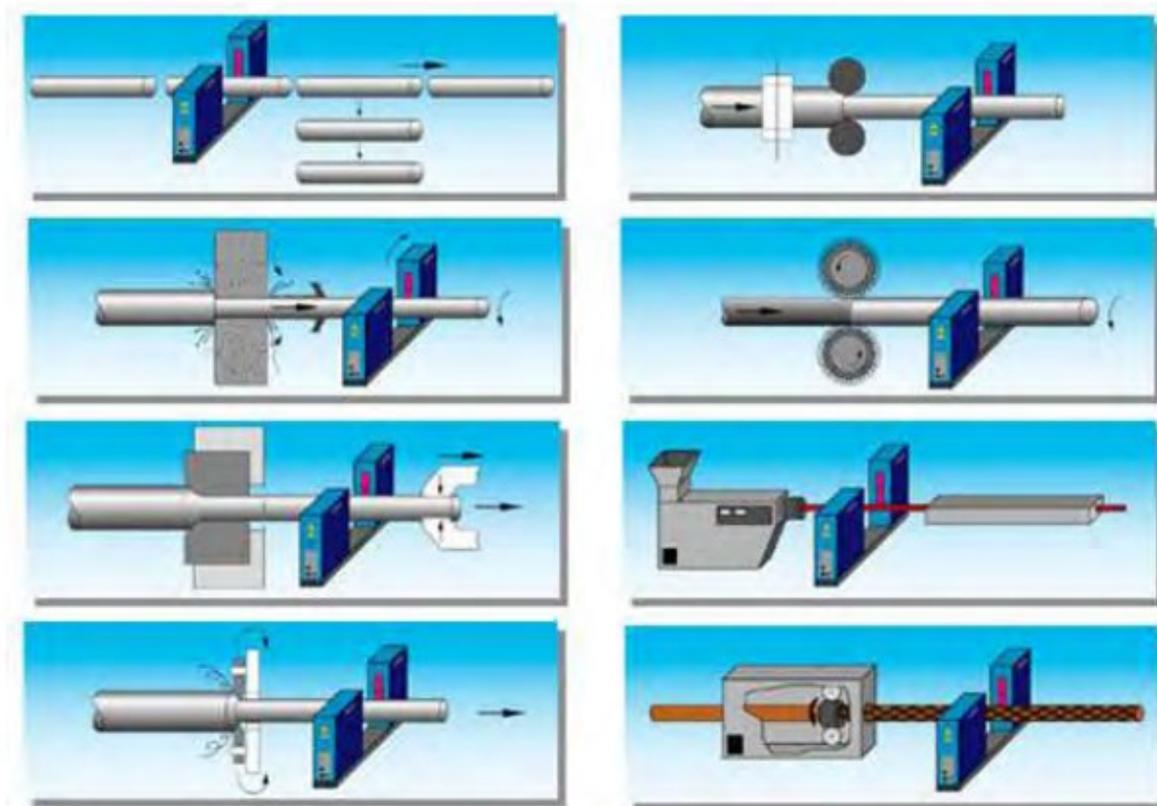


Fonte: Mitutoyo [2009?]



A figura 3 ilustra algumas aplicações do sistema de escaneamento a laser na medição de diâmetro das bitolas trefiladas.

Figura 3 – Aplicação do escaneamento a laser na medição de diâmetro trefilado



Fonte: Zumbach (2011, *apud* SILVA, 2011).

1.4 Problema

Em uma empresa do ramo metalmeccânico situada em Itapevi, na região metropolitana de São Paulo, atualmente o controle de qualidade das barras fabricadas pelo processo de trefilação ocorre de forma manual, conforme mostra a Figura 4. As medições são baseadas na utilização de instrumentos analógicos como trenas, paquímetros e micrômetros, susceptível à erros diversos, quer seja pelo uso de instrumentos mal dimensionados, pelo método de medição ineficaz, ou pelo manuseio incorreto do instrumento pelo operador. O tempo dispendido e a ineficiência no processo de medição acarretam desperdícios como refugo, retrabalho e reclamações de clientes, aumentando o custo da não qualidade e diminuindo a rentabilidade da empresa com esse tipo de produto.

Figura 4 – Controle de qualidade manual de barras



Fonte: Elaborada pelo Autor.

1.5 Objetivo

O objetivo principal é propor a utilização de uma tecnologia para medição sem contato no controle dimensional de barras trefiladas de latão. Para isto deve-se realizar o levantamento das técnicas e princípios físicos dos sistemas de medição sem contato para o processo de trefilação e propor uma solução de sistema de medição sem contato para medição de diâmetro, comprimento e empenamento de barras trefiladas no processo de trefilação.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Medidor de comprimento e de velocidade

Os medidores da série LaserSpeed (LS) Pro 8500, conforme mostra a Figura 5, medem o valor absoluto de comprimento e velocidade usando o laser de feixe duplo do tipo Velocimetria Doppler, eliminando problemas de derrapagem e desgaste de rolos de contato e tacômetros. Conforme NDC Technologies (2019), um amplo campo de medição está disponível com escopo de distâncias de afastamento, variando de 300 mm a mais de 2500 mm e velocidades de medição de até 20.000 m/min.

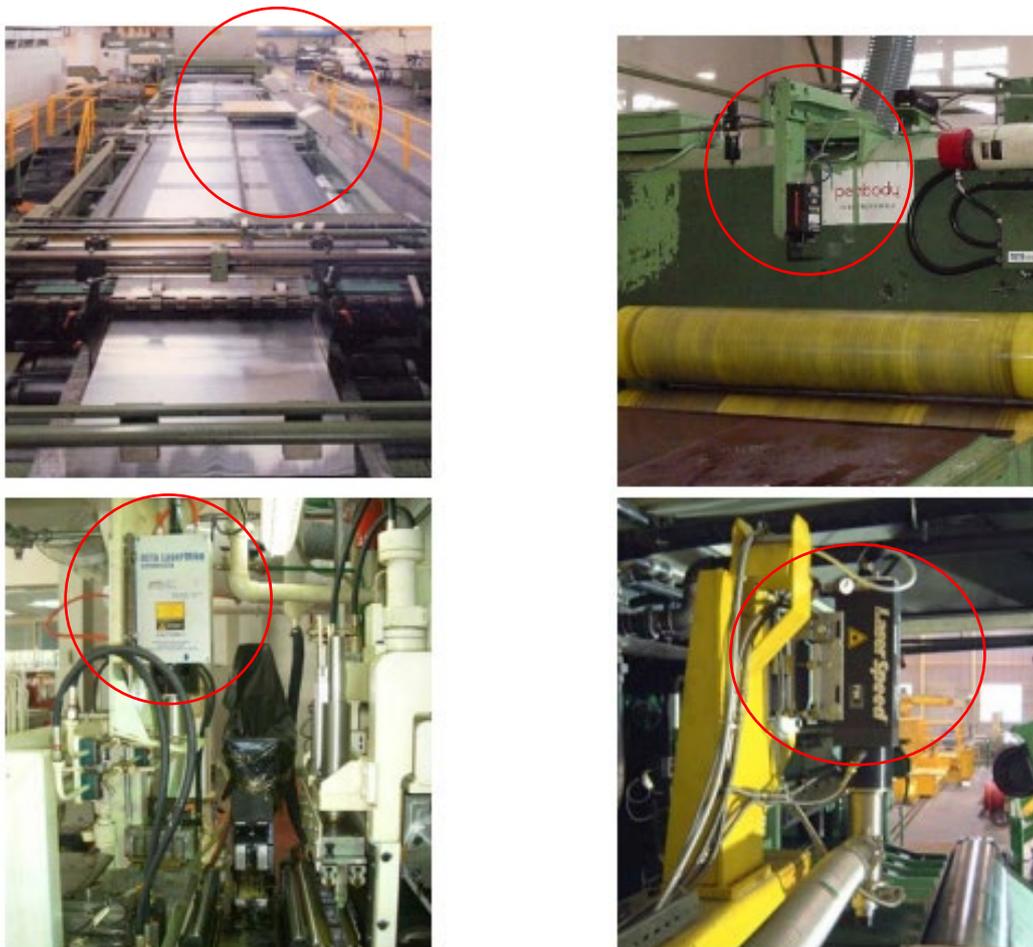
Figura 5 – Medidores da Série LS Pro 8500



Fonte: NDC Technologies (2019).

O LaserSpeed é utilizado em inúmeras aplicações de metais, incluindo fundição contínua, laminação a quente e a frio, canos, tubos, barras, bobinas e tiras, extrusão e outros processos. A Figura 6 mostra como ele está instalado nestes processos.

Figura 6 – Instalação do LaserSpeed



Fonte: Adaptado de NDC Technologies (2019).

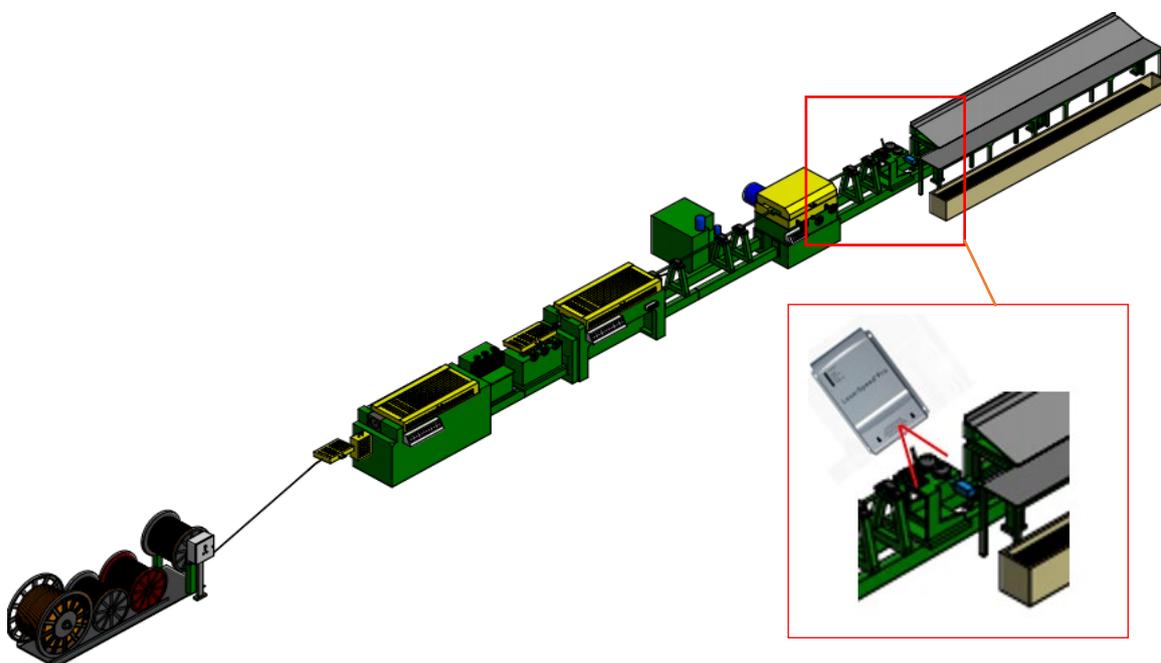
Apresentando recursos em conectividade, comunicação e controle compatíveis com a Indústria 4.0, o Laser Speed Pro se integra facilmente às redes de produção, oferecendo trocas de dados em tempo real e eficiência de processamento. O Laser Speed Pro utiliza protocolos Ethernet compatíveis com os padrões da Indústria 4.0, como o Modbus TCP, Ethernet/IP e Profinet IO, assim como suporte a protocolos Fieldbus como o Profibus DP. Também estabelece as bases para futuras conexões via Wi-Fi, Bluetooth ou ZigBee



2.2 Medição durante processo

Durante o processo de trefilação será necessário executar a operação de medição seguindo uma determinada sequência de ações. Após toda a configuração e ajustes na trefiladora, será iniciado o processo de ajuste do equipamento de medição, conforme treinamento a ser realizado com base nas recomendações do fabricante do medidor. Para a correta utilização do sistema de medição proposto será definido seu posicionamento e fixação em uma estrutura mecânica, conforme mostra a Figura 7 nas proximidades do corte no comprimento.

Figura 7 – Trefiladora



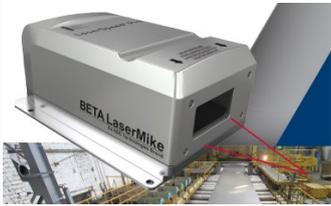
Fonte: Elaborada pelo Autor.

2.3 Composição do sistema de medição sem contato

A composição do sistema de medição sem contato pode ser descrita, sucintamente, como: velocímetro à laser, janela de limpeza (inspeção), fonte de alimentação, Tela IHM DP700 e cabos. Ele será utilizado para a medição da velocidade e do comprimento das barras durante o processo de trefilação. A seguir o quadro 1, apresenta as suas especificações e características técnicas:



Quadro 1 – Composição do Sistema de Medição

ITEM	IMAGEM	DESCRIÇÃO
1		<p>LS8500-406 Pro, LASERSPEED PRO, 600MM Velocímetro a laser 600 mm com 50 mm Profundidade de campo, período de atualização selecionável pelo usuário de 1 a 2000 ms, em incrementos de 1 ms. E / S; Comunicações seriais RS232, RS422, Ethernet / IP, Profinet IO, Ethernet (TCP / IP), Profibus</p>
2		<p>JANELA DE LIMPEZA A AR / ALTERAÇÃO RÁPIDA Janela de mudança rápida montado diretamente no medidor, ajuda a manter a janela claro em ambientes empoeirados e sujos</p>
3		<p>DB25 FONTE DE ALIMENTAÇÃO Kit de terminais de parafuso com BD25 para conexão ao medidor, BD9-Female para RS232, Fonte de alimentação, montada em um trilho DIN</p>
4		<p>Tela DP700 Exibe comprimento, velocidade e qualidade do LaserSpeed fator e status do medidor e permite definir configurações de medidor e processo. Inclui Ethernet / IP e Modbus para Controles Allen Bradley.</p>
5		<p>Cabos DB-25/DB25 e Cabos Ethernet M RJ45 10M</p>

Fonte: Adaptado de NDC Technologies (2019).

2.4 Medidor de diâmetro

O sistema de medição sem contato é geralmente utilizado na medição de diâmetros externos. Para o propósito desse trabalho ainda serão necessários validações para perfis sextavados e quadrados, sendo um sistema preciso e adequado para peças delicadas ou em movimento. Um raio laser é direcionado para um espelho poligonal que gira em alta velocidade em sincronismo exato com pulsos altamente estáveis do relógio do sistema.

O funcionamento do sistema consiste em um feixe refletido que está girando no sentido horário enquanto varre a superfície de entrada de uma lente colimadora, mas muda de direção para ser sempre horizontal após a superfície de saída da lente enquanto ela se move ou digitaliza para baixo. Este feixe horizontal entra no espaço de medição e, sem peça de trabalho presente, alcança um receptor através de uma lente de condensação para produzir um sinal de saída. Quando uma peça de trabalho simples (um cilindro, por exemplo) for colocado no espaço de medição, o feixe será interrompido por um tempo durante sua varredura e, dessa vez, conforme indicado pelos pulsos do relógio ocorrendo enquanto o sinal do receptor estiver ausente, é proporcional à dimensão da peça na direção descendente.

Cada transição entre o receptor que detecta o feixe e, em seguida, não detecta o feixe, ou vice-versa, é chamada de "aresta" e marca o início e, ou o final das seções de medição chamadas "segmentos", para que as diferenças na posição dessas arestas definam o comprimento de cada segmento. As arestas e segmentos gerados por uma peça de trabalho são numerados sequencialmente pelo instrumento e são usados ao escrever programas para extrair os dados dimensionais necessários.

Esse LSM também é capaz de enviar dados para um dispositivo externo, como um computador pessoal, a partir da unidade de exibição. Os dados de medição podem ser armazenados facilmente nas células do EXCEL usando a ferramenta de entrada Mitutoyo.

2.5 Composição do sistema de medição sem contato – diâmetro trefilado

No sistema de medição sem contato para o diâmetro será utilizado o micrômetro de varredura a laser da Mitutoyo, conforme mostra a Figura 8. Este micrômetro pode ser descrito, sucintamente, como uma unidade de medição (LSM-902), um display (LSM-6900) e cabos.

Figura 8 – Medidor da Série LSM-902/6900.



Fonte: Mitutoyo (2019).

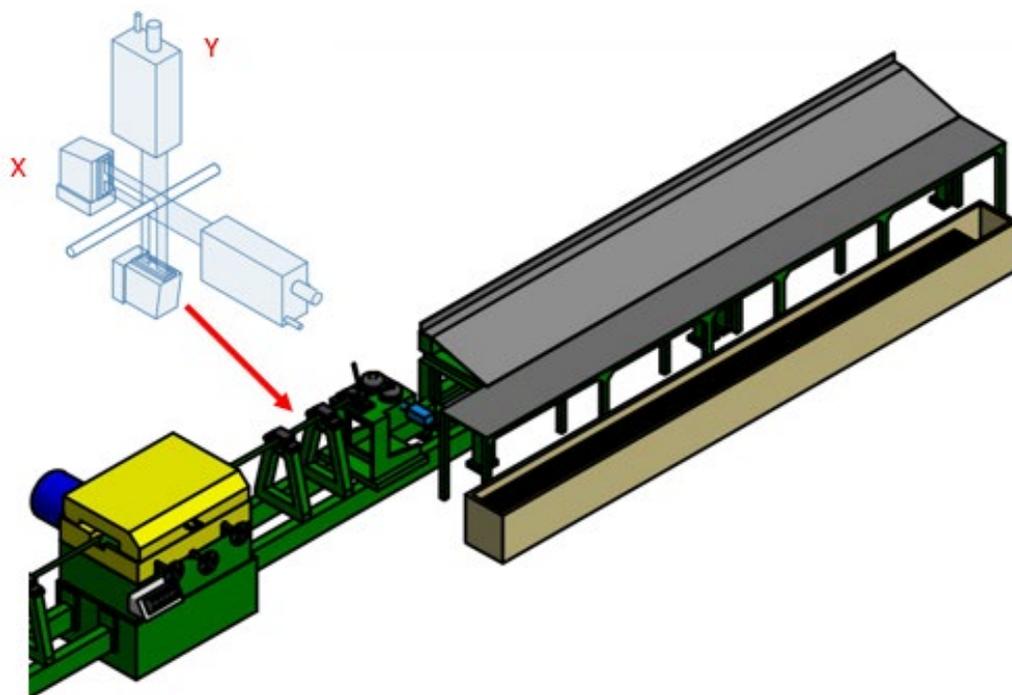
Conforme Mitutoyo (2019), pode-se ser alcançada uma exatidão de $\pm 0,5\mu\text{m}$ para diâmetros variando de 0,1 a 25mm, e repetibilidade extremamente alta de $0,05\mu\text{m}$.

Na aplicação em questão serão necessárias duas unidades de medição para se capture as dimensões em "X" e "Y" consecutivamente, a fim de se obter a medida final da bitola sendo trefilada. Para a correta utilização do sistema de medição proposto, será definido seu posicionamento e fixação em uma estrutura mecânica nas proximidades do



corde no comprimento, mantendo-se uma distância mínima entre as duas unidades de medição (LSM-902), conforme mostra a Figura 9.

Figura 9 – Instalação dos micrômetros de varredura Mitutoyo.



Fonte: Elaborada pelo Autor.

Nas pesquisas com os fornecedores de sistemas de medição sem contato, os sistemas baseados em escaneamento a laser se mostraram mais viáveis tanto do ponto de vista técnico quanto do ponto de vista econômico. Faz-se necessária a realização de provas de conceito para validação das tecnologias. O custo benefício, bem como o retorno do investimento com as tecnologias de medição sem contato, deverá ser apresentado mediante a validação técnica e econômica dos conceitos.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No que tange a repetitividade, reprodutibilidade e estabilidade dos sistemas de medição sugeridos os mesmos apenas poderão ser validados na próxima etapa do Desafio SENAI e Cecil, sob condição de prova de conceito. Para avaliação dos sistemas serão necessários experimentos estáticos e dinâmicos.

Este artigo teve como objetivo o estudo das técnicas de medição sem contato em processo de trefilação e, além disso, o projeto e desenvolvimento de dois sistemas de medição à laser para medição de comprimento, velocidade de trabalho e inspeção de diâmetro (bitola/perfil) em trefiladoras.



Nas técnicas de medição destacaram-se as que utilizam a tecnologia óptica como princípio de medição, uma vez que estas apresentam uma maior versatilidade em relação às outras. Atualmente essa técnica de medição merece destaque, pois a triangulação à laser atende uma ampla gama de aplicações, sendo ela confiável e consolidada, uma vez que esta não é apenas utilizada na medição em processo, mas também na engenharia reversa.

Os sistemas contribuirão para a diminuição do tempo de operação da máquina e de problemas ergométricos aos operadores, conseqüentemente possibilitarão melhores resultados em produtividade e qualidade.

Utilização de mais um sistema para medição de empenamento, o qual representa 15% da produção mensal de refugo, o qual no primeiro momento não se encontrou sistema confiável junto aos fornecedores de sistemas de medição sem contato.

REFERÊNCIAS

ALBERTAZZI, A.; SOUSA, A.; PEZZOTA, C. Controle geométrico através da metrologia óptica: chegando onde nenhum outro meio de medição consegue chegar. 2003. **Metrologia e Instrumentação**, São Paulo. p. 38-42.

BÖSEMANN, Werner. Advances in photogrammetric measurement solutions. **Computers in Industry**, v. 56, n. 8-9, p. 886-893, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0166361505001260>. Acesso em: 12 jun. 2019.

DOEBELIN, E. O. **Measurement Systems Application and Design**. 2004. 5th ed., Ed. Tata McGraw-Hill, New Delhi, India.

DWORKIN, S. B.; NYE, T. J. Image processing for machine vision measurement of hot formed parts. **Journal of materials processing technology**, v. 174, n. 1-3, p. 1-6, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924013604013159>. Acesso em: 12 jun. 2019.

HEXAGON METROLOGY. **Sistemas de Escaneamento por Luz Branca**. 2019. Disponível em: <https://www.hexagonmi.com/pt-BR/products/white-light-scanner-systems>. Acesso em: 4 jun. 2011.

MITUTOYO. **Catálogo PG 905**: catálogo de produtos. [2009?]. Disponível em: <https://www.importecferramentas.com.br/web/importecferramentas/uploads/catalogos/Mitutoyo-GERAL.pdf>. Acesso em: 05 set. 2019.

MITUTOYO. **Micrômetro de varredura laser - LSM-902/6900 - 544-498A**. 2019. Disponível em: <https://www.mitutoyo.com.br/micrometro-de-varredura-laser-lsm-902-6900-544-498a.html>. Acesso em: 05 set. 2019.



NDC TECHNOLOGIES. **LASERSPEED® PRO LENGTH & SPEED GAUGE: Industry Leader in Non-Contact Measurement for the Metals Industry**. 2019. Disponível em: http://www.laserspeedgauge.com/phocadownload/LaserSpeed_Pro_Metals.pdf. Acesso em: 12 set. 2019.

PATSKO, Luís Fernando. Tutorial: aplicações, funcionamento e utilização de sensores. **Maxwell Bohr: Instrumentação Eletrônica**, 2006.

SHIOU, F.; LIOU, M. **Development of a novel scattered triangulation laser probe with six linear charge-coupled devices (CCDs)**. Optics and Laser in Engineering, v.47, p 7-18, 2009.

SILVA, R. F. A. **Projeto e desenvolvimento de um sistema de medição sem contato aplicado ao processo de torneamento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

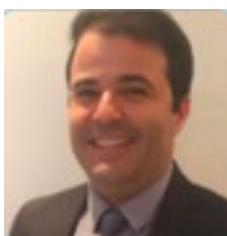
THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. 8. ed. Ed. Érika, 2011.

AGRADECIMENTOS

Ao bom Deus que até aqui tem me ajudado. Ao amigo Guido Ganassali, a equipe do IST e aos meus mestres da faculdade SENAI por seus ensinamentos compartilhados. Ao meu orientador por todo suporte e conhecimento. Aos meus companheiros de classe por todo o *network* e experiência de vida compartilhadas. E a minha família por ter paciência com minha ausência, durante minha jornada em busca de uma melhor condição de vida.

Sobre os Autores:

RICARDO CASTILHO



Possui graduação em Engenharia de Produção pela Faculdade Anhanguera (2010), e está cursando atualmente a Pós-Graduação em Indústria 4.0 pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica (2019). Tem experiência profissional multidisciplinar adquirida no ramo da Indústria automobilística, atuando nas áreas de ENGENHARIA de Processos de Produção, Manutenção, Manufatura e parceria com a área da Qualidade. É Especialista em Tecnologia no Instituto SENAI de Tecnologia, gerente de projetos para implementação de fábricas digitalizadas com Indústria 4.0 e consultor em Lean Manufacturing.

ii THIAGO TADEU AMICI



Ministra aulas na pós-graduação de Indústria 4.0, na graduação em Tecnologia em Mecatrônica Industrial e no técnico em Mecatrônica no SENAI Armando de Arruda Pereira, além de assessorar o Instituto SENAI de Tecnologia Metalmeccânica. Durante 6 anos ministrou aulas pelo SENAI-SP, nos cursos de técnicos de Eletrônica, Eletroeletrônica e Automação Industrial, além de Formação Inicial e Continuada (FIC) com cursos voltados ao CLP da Siemens. Possui mestrado em Automação e Controle e Processos pelo Instituto Federal de Ciências e Tecnologia de SP (IFSP - 2018), graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia São Paulo (2012), graduação em Tecnologia em Automação Industrial pelo IFSP (2009) e ensino profissionalizante em Eletrônica pela Instituição Liceu de Artes e Ofícios de São Paulo (2002). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, Automação Industrial, Mecatrônica, Robótica e Indústria 4.0. Experiência internacional na aprovação de linha de produção (Cavemil) em Milão na Itália e sua instalação no Brasil. Participou do desenvolvimento do projeto, programação, montagem e apresentação da Linha de Manufatura Avançada Industrial 4.0 realizada em parceria entre o SENAI-SP e a ABIMAQ, que foi exposta na FEIMEC 2018 e da linha de Confecção 4.0, em parceria entre o SENAI-SP e a ABIT.